

文章编号:1007-6735(2017)04-0353-05

DOI:10.13255/j.cnki.jusst.2017.04.009

基于交通指数云图的宏观交通流分析方法综述

王忠浩, 张 静, 肖建力

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 基于交通流分析在智能交通研究和应用中的重要性, 聚焦路网交通流分析方法的回顾, 综述了宏观尺度的路网交通流分析方法的研究现状. 从微观、中观、宏观 3 个方面梳理了交通流分析方法的基本类型; 重点阐述了宏观交通流分析中的交通拥堵指数的基本概念及其计算方法; 随后基于交通拥堵指数提出交通指数云图的概念; 最后对基于交通指数云图的路网交通流分析进行了讨论, 并对其发展和应用前景进行了展望.

关键词: 交通流分析; 交通指数; 区域划分; 交通指数云图

中图分类号: TP 391 **文献标志码:** A

Survey on the Analysis Methods for Macroscopic Traffic Flow Based on Traffic Index Clouds

WANG Zhonghao, ZHANG Jing, XIAO Jianli

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The paper focuses on the review of analysis methods for traffic flow on road networks on account of the importance of its applications in intelligent transportation systems. It affords a meaningful review on the large-scale analysis methods for traffic flow. The basic types of the traffic flow analysis methods were drawn from the three aspects of microscopic, mesoscopic and macroscopic views at first. Then, the concept of traffic congestion index and its computing method were presented in detail, and at the same time, the concept of traffic index clouds was proposed. Finally, the methods for analyzing macroscopic traffic flow based on traffic index clouds were discussed, and the development and applications of the traffic index clouds were also presented.

Keywords: traffic flow analysis; traffic index; region division; traffic index clouds

交通流理论是研究交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系, 是描述道路上的车辆与道路

设施和环境交互运行规律的基础科学, 也是交通工程学的基础^[1-2]. 随着现代都市道路交通拥堵状况

收稿日期: 2016-12-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61503250); 上海高校青年教师培养资助计划(ZZslg15018); 上海理工大学国家级项目培育课题(16HJPY-QN03)

第一作者: 王忠浩(1993-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 数据挖掘与大数据技术. E-mail: 1223644190@qq.com

通信作者: 肖建力(1982-), 男, 讲师. 研究方向: 数据挖掘与大数据技术、机器学习与计算机视觉、智能交通与智慧城市. E-mail: audyxiao@sjtu.edu.cn

的加剧,“智能交通^[3]”已经成为未来城市交通发展的必然趋势,因此,对城市的交通流进行分析显得格外重要.作为交通工程学的基础,交通流分析理论已被广泛应用于交通控制、交通规划,以及道路工程设计等诸多领域.特别是随着交通信息技术的蓬勃发展,将交通流分析和人工智能、控制理论等技术相结合,解决了交通运输研究中的许多复杂问题^[4-6].通过对路网交通流进行分析,可以发现路段和区域的交通运行规律并预测道路拥堵情况,为交通管理者进行提前道路疏散,限制车流量等提供科学的依据,也为出行者规划出行路径提供了便利.

路网交通流分析的方法根据路网的空间尺度可以划分为微观交通流分析、中观交通流分析、宏观交通流分析3个派别.微观交通流分析主要研究某一点或某一断面交通特性;中观交通流分析主要研究路段的交通流特性;而宏观交通流分析则主要侧重于从路网区域这一宏观的尺度对交通流进行分析.从大范围把握事物的特性总是更加富有挑战性,本文主要对宏观交通流分析的方法进行了回顾.宏观交通流分析对于交通管理部门具有重要的意义,特别是对路网区域的交通流分析能够为交通管理部门制定交通发展规划提供有力的数据支撑,同时还能够为出行者避开拥堵的区域提供宏观尺度的指引.

本文首先论述了交通流分析方法的基本类型,然后重点回顾了宏观交通流分析方法的研究现状,随后对基于交通指数云图的宏观路网交通流分析方法进行了展望.

1 交通流分析方法的基本类型

目前已经提出了许多对路网交通流进行分析的方法.根据路网空间尺度的不同,大致可以划分为微观交通流分析、中观交通流分析、宏观交通流分析3个派别^[7].

微观交通流理论分析主要研究某一点或某一断面交通特性.它是一种针对个体车辆交通运行特性进行分析与建模的理论方法,是解析、描述和预测交通流运行规律的重要手段之一^[2].微观交通流分析的经典方法主要有车辆跟驰模型^[8]、换车道模型^[9]等.跟驰理论是通过动力学方法,研究车队在难以超车的道路上行驶时,前后车之间的行驶状态,并且用数学模型加以表达和阐明的一种方法^[10].它在微观交通仿真、驾驶人行为分析、通行能力分析、智能车辆、交通安全等领域都有广泛的应用价值,是微观交

通流理论的核心.20世纪50年代以来,国内外学者针对车辆跟驰模型的特点和性质进行系统研究,产生了刺激-反应模型、安全距离模型、心理-生理模型、神经网络的车辆跟驰模型等,使得车辆跟驰理论得到快速发展^[11].换车道模型主要用于描述车辆行驶过程中变换行驶车道的行为,最早由Gipps^[12]于1986年提出.该模型考虑了换道风险、到障碍物的距离、转向需求等影响因素,设计了相应的优先决定规则来判别不同因素对换道行为产生的影响.由于这一模型比较复杂,需要以大量微观车辆数据为基础,处理不当会对交通安全、交通通行能力有诸多影响,因此关于换车道模型的研究备受关注.上述微观交通流模型在实际的交通应用中,存在缺乏对人为因素的考虑、模型适应性不强、实测数据不准确等问题,这在一定程度上限制了微观交通流模型在城市路网状态分析中的应用和发展^[13].

中观交通流理论分析主要研究路段的交通流特性.中观交通流理论以气体动力学为基础,建立可以模拟真实交通流状况的数学模型,从中观层面研究行驶的车辆,从而描述交通流的随机性与不确定性^[2].其研究对象不仅可以是单个车辆,也可以是数辆车组成的车队.与微观交通流的跟驰、换车道模型不同,它是通过宏观模型中的速度-密度关系来表示车辆的行驶速度^[14].主要模型有车头时距分布模型、聚类模型、排队服务模型^[15]等.这些模型与微观模型相结合,具有较强的优势.但是大多已有的中观交通流模型以欧美发达国家的运输状况为背景,很难反映出中国城市的交通状况,而且,模型对机动车和非机动车混合的交通流还没有很好的解决方法.

宏观交通流理论分析主要研究路网区域的交通流特性.它不是描述具体某车辆的行驶规律或某一路段的交通流特性,而是对整个路网区域的交通流特性进行描述分析.通过在宏观尺度上研究拥堵区域的形成和消散的规律,为城市交通控制管理、挖掘现有路网的通行潜力、提高交通资源的利用率等提供更为可靠的科学依据^[16].1955年,Lighthill,Whitham和Richards提出LWR模型^[17-18],这是最早的宏观交通流模型.此模型认为宏观交通路网内的车流永远处于一个相对平衡的状态,并引入速度和密度的关系,为建立宏观交通流模型奠定了基础.在此基础上,Payne^[19]为解决非平衡交通现象,提出了一个高阶模型:

$$v_k(t + \omega) = V(\Delta L) \quad (1)$$

式中: v_k 是第 k 辆车的行驶速度; ω 是车辆行驶时

速度变化的时间延迟量; V 是速度优化函数; ΔL 是第 $k-1$ 辆车和第 k 辆车之间的距离. 这一模型使得交通流车速在偏离平衡速度时也可以取得良好的效果. 此外, Papageogiou 等^[20-21] 为了便于更好地分析交通流数据, 提出了 METANET 离散模型, 这是一种离散化的高阶宏观交通流模型, 很好地体现出交通流的各向异性. 在宏观交通流预测方面, 南加州大学的 Abadi 等^[22] 利用动态交通流仿真器将路网中的缺失数据进行补全, 并用自回归模型将交通预测推广到整个路网系统, 实现整个路网的宏观交通流预测. 以上各种宏观交通流模型的提出及其在实际生活中的应用体现出了宏观交通流的研究价值, 也为以后从宏观角度预测整个路网的交通拥堵情况提供了理论基础和指导. 图 1 从宏观上呈现了交通流分析的基本类型.

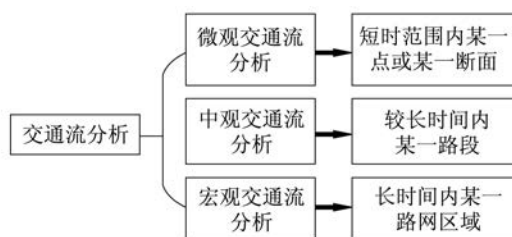


图 1 交通流分析方法的基本类型

Fig.1 Basic methods for traffic flow analysis

2 宏观交通流分析方法研究现状

宏观路网交通流分析主要是对宏观交通路网总体运行状态进行评价. 而在宏观交通路网评价方面, 最为关键的是建立反映路网运行状态的科学合理的评价指标. 目前, 对交通拥堵评价指标的研究主要基于行程速度、道路交通密度、交通量和出行时间等方面, 从道路最大交通量与最大通行能力的比值、拥堵时间比^[23]等角度挖掘出适合宏观交通流分析的评价指标. 因此, 国际上一些城市采用道路交通指数^[24]来综合评价交通路网的整体运行质量. 城市道路交通指数主要描述某一时间段的城市路网交通状况的优良程度, 它是一种对城市交通状态的综合性评价指标. 其直接影响因素有交通密度、路段平均车速、交通流量和交通延误; 间接因素有天气状况、交通突发事件、交通秩序以及国家政策等.

为衡量道路交通密度、拥堵强度和持续情况, 1994 年, 美国德克萨斯州交通研究院的 Boarnet 提出道路拥堵指数^[25] (roadway congestion index,

RCI) 的概念, Boarnet 认为交通流量和交通密度在一定程度上很好地反映某路段交通的运行状态. 因此, 他将道路中每公里的日平均交通量作为道路拥堵指数. 该指数适用于对某区域整体、长周期的交通状况进行评价^[26]. 但由于其反应不够灵敏, 无法对路网动态交通状况进行评价, 在实际应用中已经很少使用. 美国加州采用拥堵持续指数 (lane kilometer duration index, LKDI) 作为从宏观角度评价交通路网运行状态的指标. 该方法用年均日交通量与通行能力的比值作为判断拥堵路段的标准, 然后以拥堵路段的长度和拥堵持续时间来计算区域内的拥堵持续指数.

$$LKDI = \frac{\sum_{i=1}^k L_i t_i}{K} \quad (2)$$

式中: $LKDI$ 为拥堵持续指数; L_i 为区域内拥堵路段长度; t_i 为拥堵持续时间; K 为拥堵路段数目. 该指标从宏观角度较全面地考虑了整个区域交通状况, 在复杂路网的环境中也有良好的评价效果. 在国内, 高德地图^[27] 在搜集交通历史信息数据的基础上, 以拥堵延时指数作为城市拥堵程度的评价指标, 这里的拥堵延时指数计算方式为城市居民平均一次出行的实际旅行时间与自由流状态下旅行时间之比. 延时指数越大表示出行延时占出行时间的比例越大, 这就意味着交通道路越拥堵. 除此之外, 很多城市交通管理部门在宏观路网交通流评价分析方面进行了积极的研究. 北京和广州都采用拥堵里程比作为宏观交通拥堵评价指标. 该方法根据路段交通流速度将路段进行等级层次划分, 并将拥堵里程比定义为在一段时间内交通路网中各等级道路处于拥堵等级的路段里程比. 然后根据此比值和各级路段进行权重叠加, 得到全路网中的拥堵里程比, 最后按照比例进行转换, 得到反映全路网的实时交通运行状况的交通运行指数. 此评价方法易于计算和理解, 但计算拥堵里程比例时仅计入最拥堵等级的路段, 忽略了其他等级路段的影响^[26]. 上海于 2002 年提出道路交通指数, 该指数以选取道路的饱和度和机动车运行速度为基本数据, 以数学手段和逻辑分析建立的指数模型为基本手段得到, 可以直观地反映交通服务状况的优劣程度. 研究人员在此基础上于 2011 年提出道路交通状态指数 (traffic state index, TSI)^[28], 解决了之前用颜色无法表达各种状态的程度差异以及无法区分同一颜色的状态差别的问题. TSI 是在统计时间间隔内, 将城市道路交通状态的

相对数值进行量化,其核心参数为道路行驶速度.但由于在实际交通流中,路段长度、车道数目等都会对道路交通拥挤程度产生不同影响,因此,需将里程长度和车道数目进行综合加权计算.

$$TSI = \frac{\sum_{i=1}^I L_i k_i \left[\frac{v_m - v_i}{v_m} \right]}{\sum_{i=1}^I L_i k_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中: v_m 表示路网中路段 i 在畅通状态下的车速; v_i 表示路网中路段 i 的实际车速; L_i 表示路段 i 的长度; k_i 表示路段 i 的车道数目. 交通状态指数可以在宏观角度动态、直观地对城市路网交通流进行评价,已经成为交通管理者在宏观层面分析交通拥堵问题的重要工具.

3 基于交通指数云图的宏观路网交通流分析

由于城市交通路网日趋复杂,相邻路段之间彼此关联,从宏观角度对整个城市的交通系统进行统一调度管理变得很难实现.而实际路网中的交通流是随时间动态变化的,相邻路段之间的流量变化相互关联,进而影响整个路网的变化.将交通网络视为一个整体,确定科学合理的宏观网络交通状态分析方法,对描述路网运行状态的变化特征与掌握路网运行质量影响规律有重要意义.本文提出使用交通指数云图对宏观路网的交通流进行分析.所谓交通指数云图是受气象卫星云图的启发,将路网区域某一时刻的交通指数分布映射到连续的颜色空间,再与地图进行融合,最后得到的图像称为该时刻的交通指数云图.图2是上海浦西的交通指数云图,图中不同颜色表示各区域的拥堵情况,由绿到红,颜色越深越拥堵^[29].

在建立交通指数云图的过程中,最为重要的步骤是对交通路网进行动态划分.YAGODA等^[30]认为相邻道路之间具有很强的关联性,通过分析路段长度和路段流量,对道路交叉口之间的协调控制进行描述,建立了基于交叉口关联性分析的交通区域划分方法.Tian等^[31]在分析交通控制子区带宽的基础上对交通区域进行动态划分.段后利等^[32]针对传统交通控制区域划分无法适应城市路网交通流快速变化的问题,建立了基于超图表示的路网模型,并设计了相应的路网超图划分算法,通过对超图模型的分割达到交通区域动态划分的目的.邹文杰等^[33]借鉴GIS系统中网格,定义了交通网格的概念,提出了一

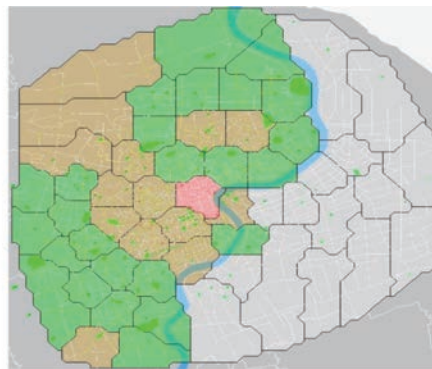


图2 上海浦西地区的交通指数云图

Fig.2 Traffic index clouds of Shanghai Puxi

种基于空间相关性分析的路网评价区域划分方法,以多元交通数据为基础,实现路网区域的划分.以上述动态区域划分为基础,交通指数云图将整个城市路网根据各个路段的拥堵情况进行动态划分成数个不同的区域,以每个交通子区域为研究对象综合进行优化和控制,而各个区域的拥堵情况根据其内部路网交通状态来决定.并将最终的路网区域划分用拥堵指数的形式进行颜色划分,以此实时获取城市中某一区域的具体交通状况.

4 结束语

城市路网交通流中包含着大量可用于改善交通运行状况的规律信息.从宏观角度分析路网交通流对描述路网运行状态的变化特征,以及掌握路网运行质量的影响规律有重要意义.交通指数云图以动态区域划分模型为基础,具有动态性、直观性、区域性的特点,可以从空间尺度对交通状态进行估计和预测,方便交通管理者进行路网诱导与控制的集成.在大空间尺度上对城市区域的交通运行状态进行全面评价,研究拥堵区域的形成和消散的规律,为城市交通控制管理、挖掘现有路网的通行潜力、提高交通资源的利用率等提供更为可靠的科学依据,从而解决城市发展中的很多问题.

参考文献:

- [1] 王翔,肖建力.基于视频的交通参数检测综述[J].上海理工大学学报,2016,38(5):479-486.
- [2] 《中国公路学报》编辑部.中国交通工程学术研究综述·2016[J].中国公路学报,2016,29(6):1-161.
- [3] ALAM M, FERREIRA J, FONSECA J. Introduction to intelligent transportation systems [M] // ALAM M, FERREIRA J, FONSECA J. Intelligent Transportation

- Systems. Switzerland: Springer International Publishing, 2016: 1 - 17.
- [4] 何胜学,刘洁,张皓东. 基于粒子群算法的快速路投资优化方法[J]. 上海理工大学学报, 2016, 38(4): 373 - 379.
- [5] LI M W, HONG W C, KANG H G. Urban traffic flow forecasting using Gauss-SVR with cat mapping, cloud model and PSO hybrid algorithm[J]. Neurocomputing, 2013, 99: 230 - 240.
- [6] 干宏程,汪晴,范炳全. 基于宏观交通流模型的行程时间预测[J]. 上海理工大学学报, 2008, 30(5): 409 - 413.
- [7] CHAKROBORTY P. Models of vehicular traffic: an engineering perspective [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2006, 372(1): 151 - 161.
- [8] 杨龙海,赵顺,罗沂. 基于期望跟驰间距的跟驰模型研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2016, 40(4): 580 - 584, 591.
- [9] 王茉莉. 车辆换道行为对交通流影响分析[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [10] 郭健. 城市微观交通流模型综述[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(4): 1 - 4.
- [11] 王殿海,金盛. 车辆跟驰行为建模的回顾与展望[J]. 中国公路学报, 2012, 25(1): 115 - 127.
- [12] GIPPS P G. A model for the structure of lane-changing decisions [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1986, 20(5): 403 - 414.
- [13] ZHENG Z D. Recent developments and research needs in modeling lane changing [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014, 60: 16 - 32.
- [14] 江竹,张琦,林勇,等. 基于机器学习的中观交通仿真器模型参数标定[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(24): 5692 - 5695.
- [15] 刁阳,隗志才,倪安宁. 中观交通流建模与系统仿真研究综述[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(7): 2411 - 2415.
- [16] 王殿海,曲昭伟. 对交通流理论的再认识[J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(4): 55 - 59.
- [17] LIGHTHILL M J, WHITHAM G B. On kinematic waves. II. A theory of traffic flow on long crowded roads [J]. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1955, 229(1178): 317 - 345.
- [18] RICHARDS P I. Shock waves on the highway [J]. Operations Research, 1956, 4(1): 42 - 51.
- [19] PAYNE H J. Models of freeway traffic and control[M] // BEKEY G A. Mathematical Models of Public Systems. La Jolia, CASimulation Councils, Inc., 1971: 51 - 61.
- [20] PAPAGEORGIOU M, BLOSSEVILLE J M, HAJ-SALEM H. Modelling and real-time control of traffic flow on the southern part of Boulevard Peripherique in Paris, Part II: coordinated on-ramp metering [J]. Transportation Research Part A: General, 1990, 24(5): 361 - 370.
- [21] WANG Y B, PAPAGEORGIOU M, MESSMER A. A real-time freeway network traffic surveillance tool [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006, 14(1): 18 - 32.
- [22] ABADI A, RAJABIOUN T, IOANNOUN A. Traffic flow prediction for road transportation networks with limited traffic data [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(2): 653 - 662.
- [23] SCHRANK D, EISELE B, LOMAX T. TTI's 2012 urban mobility report[R]. Texas: Texas A&M Transportation Institute, 2012.
- [24] 关积珍. 城市交通综合指数、交通出行指数及其数学建模[J]. 交通运输系统工程与信息, 2004, 4(1): 49 - 53.
- [25] BOARNET M, KIM E, PARKANY E. Measuring traffic congestion [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1998, 1634: 93 - 99.
- [26] 郑淑莹,杨敬锋. 国内外交通拥堵评价指标计算方法研究[J]. 公路与汽运, 2014(1): 57 - 61.
- [27] 高德交通. 高德地图: 2015 年度中国主要城市交通分析报告[R]. 北京: 高德软件有限公司, 高德交通, 2016.
- [28] 张杨,何承,张祎,等. 上海市道路交通状态指数简介及应用案例[J]. 交通与运输, 2016, 32(3): 16 - 18.
- [29] 肖建力. 智能交通中的多核支持向量机与分类器集成方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- [30] YAGODA H N, PRINCIPE E H, VICK C E, et al. Subdivision of signal systems into control areas[J]. Traffic Engineering, 1973, 43(12): 42 - 45.
- [31] TIAN Z, URBANIK T, MESSER C, et al. A system partition approach to improve signal timing[C] // TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM. Washington, DC: Transportation Research Board, 2003.
- [32] 段后利,李志恒,张毅,等. 交通控制子区动态划分模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009, 39(S2): 13 - 18.
- [33] 邹文杰,翁剑成,荣建,等. 基于空间相关性分析的路网评价区域划分方法[J]. 北京工业大学学报, 2012, 38(4): 564 - 569.

(编辑:丁红艺)